

Xplore, 2013, Vol. 1(1):e8(1-7) © 2013 Departemen Statistika FMIPA IPB

PENGENDALIAN PROSES BAJA KARBON TINGGI DI PABRIK BILLET BAJA PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) Tbk, CILEGON

HIGH CARBON STEEL PROCESS CONTROL IN BILLET STEEL PLANT OF PT KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK, CILEGON

Riska Asri Pertiwi*, Erfiani*, Dian Kusumaningrum*

*Departemen Statistika, Institut Pertanian Bogor

Ringkasan—Process control is used to guarantee a product/service that was produced to meet certain specification and has high uniformity over time. Process control generally uses quality control charts that is used to detect the causes of high variability a product. Quality control charts that was used in this study was Generalized Variance control chart and Individual Hotelling T^2 control chart. The Individual Hotelling T^2 control chart was done after the Generalized Variance control chart was under control. Based on the results of the Generalized Variance (GV) control chart and the Hotelling T^2 control chart using a confidence level of 99.73%, the process of high carbon steel was under control after observations that were outside the control limits were removed, which means variance and average of the process was under control. However, the identification of the previously uncontrolled observations was done first. One way to determine the variables (elements) that affected the out of control observation was to calculate the decomposition value of out of control observations. Based on these values, it indicated that the variables mainly causes out of control observation were Cu, Ni, S, and P.

Keywords—Generalized Variance control char; Individual Hotelling T^2 control chart; out of control observation;

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PT Krakatau Steel merupakan perusahaan penghasil besi baja terbesar di Indonesia yang didirikan pada tanggal 31 Agustus 1970. Perusahaan ini mengolah bijih besi dalam bentuk setengah jadi maupun bahan jadi untuk dipasarkan kepada konsumen. Perusahaan ini memiliki enam unit produksi, yaitu pabrik besi spons, pabrik baja slab, pabrik baja lembaran panas, pabrik pengerolan baja lembaran dingin, pabrik billet baja, dan pabrik batang kawat. Unit produksi yang menjadi fokus penelitian ini adalah pabrik billet baja. Pabrik billet baja merupakan pabrik yang menghasilkan produk dalam bentuk batangan yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja profil, baja tulang beton, dan baja kawat.

Pabrik billet baja memproduksi berbagai macam baja dengan *grade* yang berbeda-beda, salah satunya adalah baja karbon tinggi (*high carbon*) *grade* KS1082B2. Baja dengan *grade* KS1082B2 digunakan untuk kawat, pegas, dan kabel

rumah. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 adalah besi spons dan baja bekas (*scrap*). Pabrik billet baja PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon merupakan satu-satunya perusahaan yang memproduksi baja karbon tinggi di Indonesia. Baja karbon tinggi yang diproduksi harus memenuhi unsur-unsur kimia utama, yaitu Karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Krom (Cr), Vanadium (V), dan senyawa *Carbon Equivalen* (CE). Komposisi kimia tersebut sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis (*mechanical properties*) dari produk yang dihasilkan. Selain itu, setiap unsur kimia tersebut pada setiap *grade* juga memiliki standar spesifikasi masing-masing.

Kekurangan dari baja karbon tinggi hasil produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon adalah besi spons yang merupakan salah satu bahan baku pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 masih berasal dari luar negeri. Oleh karena itu, biaya produksi yang dikeluarkan juga semakin besar. Selain itu, pengendalian proses produksi baja karbon tinggi juga masih sulit dilakukan karena terdapat beberapa baja yang tidak sesuai dengan standar spesifikasi *grade* yang akan dibuat. Hal tersebut menyebabkan beberapa hal, diantaranya adalah apabila baja yang diproduksi masih dapat diubah menjadi baja dengan *grade* yang lain maka baja tersebut akan diubah menjadi *grade* yang sesuai dengan komposisi kimia pada baja yang diproduksi, namun jika tidak dapat dilakukan hal tersebut maka baja tersebut ditolak (*reject*). Perubahan *grade* baja tersebut mengakibatkan menurunnya jumlah target pesanan (*order*). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian proses secara statistika agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan sehingga jumlah target pesanan dapat dicapai.

Pengendalian proses ditunjukkan untuk menjamin suatu produk/jasa yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi tertentu dan memiliki keseragaman yang tinggi dari waktu ke waktu, serta proses dianggap stabil apabila proses dapat menghasilkan produk dengan keragaman yang hanya disebabkan oleh keragaman umum sehingga keragaman antar unit menjadi keragaman yang dapat diperkirakan. Pada pe-

ngendalian proses, umumnya menggunakan bagan kendali mutu yang bertujuan mendeteksi adanya penyebab-penyebab yang dapat menimbulkan keragaman yang tinggi pada produk yang dihasilkan. Menurut [1], bagan kendali adalah alat statistika yang bertujuan untuk menunjukkan dan memantau kekonsistenan proses atau produk. Bagan kendali mutu yang digunakan pada penelitian ini adalah bagan kendali mutu *Generalized Variance* (GV) dan bagan kendali mutu peubah ganda T^2 Hotelling Individual. Bagan kendali T^2 Hotelling Individual dipilih karena peubah yang diteliti jumlahnya lebih dari satu dan beberapa peubah tersebut saling berhubungan, serta ukuran subgrup yang diteliti sebanyak satu.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengendalian proses secara statistika terhadap komposisi kimia baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 dan mengidentifikasi pengamatan tidak terkendali. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan atau evaluasi untuk pengendalian proses yang lebih baik pada Pabrik Billet Baja PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon.

II. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Melakukan analisis pengendalian proses secara statistika terhadap komposisi kimia baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 di Pabrik Billet Baja PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon.
- 2) Mengidentifikasi pengamatan tidak terkendali pada komposisi kimia baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 di Pabrik Billet Baja PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon.

III. TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja

Logam dan paduannya dikelompokkan menjadi dua berdasarkan komposisi kimia, yaitu logam-logam besi (*ferrous*) dan logam bukan besi (*non-ferrous*). Besi adalah logam dan paduan yang unsur utamanya adalah besi (Fe) sedangkan logam bukan besi merupakan bahan yang mengandung sedikit atau sama sekali tidak mengandung unsur besi (Fe). Klasifikasi logam dan paduan besi adalah besi tuang (*cast iron*), baja karbon (*carbon steel*), baja paduan (*alloy steel*), dan baja spesial (*speciality steel*).

[2] menyatakan baja karbon adalah suatu baja yang mengandung karbon sampai maksimum 2%. Baja karbon dapat dibagi atas tiga bagian, yaitu:

- 1) Baja karbon rendah
Baja karbon rendah (*mild steel*) mengandung karbon antara 0.008% - 0.3%. Setiap satu ton baja karbon rendah mengandung 10 - 30 kg karbon.
- 2) Baja karbon sedang (medium)
Baja karbon ini mengandung karbon antara 0.30% - 0.60%. Setiap ton baja karbon ini mengandung karbon antara 30 - 60 kg.
- 3) Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0.70% - 1.30% dan setiap satu ton mengandung karbon antara 70 - 130 kg.

Komposisi kimia dalam baja memiliki fungsi masing-masing, yaitu:

- Unsur C berfungsi untuk meningkatkan kekuatan/kekerasan dari baja tetapi keuletannya akan menurun
- Unsur S berfungsi untuk meningkatkan kekuatan baja tanpa menurunkan keuletannya.
- Unsur Mn berfungsi untuk mencegah terjadinya *hot shortness* (kegetasan pada suhu tinggi) terutama pada proses pengolahan panas.
- Unsur Si, Al berfungsi untuk menghilangkan oksigen terlarut dari lelehan.
- Unsur Ni, Cu berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam jumlah kecil sedangkan dalam jumlah besar terdapat pada unsur Ti.
- Unsur Cr, V, Mo berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dengan membentuk fase kedua-karbida.
- Unsur Ca berfungsi untuk meningkatkan ketangguhan baja.
- Unsur P berfungsi untuk membuat baja mudah dirol pada saat panas.
- Unsur Nb merupakan unsur pembentuk karbida kuat.
- Unsur N mempunyai efek pengerasan dan penggetasan terhadap baja sehingga dalam beberapa hal menguntungkan dan dalam beberapa hal merugikan.

IV. METODE

A. Data

Data yang digunakan adalah data sekunder hasil pengujian contoh komposisi kimia baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 di Pabrik Billet Baja PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon. Peubah-peubah yang digunakan adalah Karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Fosfor (P), Sulfur (S), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Krom (Cr), Vanadium (V), dan *Carbon Equivalen* (CE). Satuan pada komposisi kimia dalam baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 berupa persentase (%). Data tersebut merupakan data hasil pengambilan contoh yang dilakukan pada tanggal 01 Januari 2010 sampai dengan 30 April 2013.

B. Prosedur Analisis Data

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan eksplorasi data setiap unsur kimia menggunakan statistika deskriptif. Statistika deskriptif yang digunakan adalah rata-rata, simpangan baku, median, maksimum, dan minimum.
- 2) Melakukan eksplorasi data dengan menghitung korelasi antar peubah (unsur kimia) dengan menggunakan

koefisien korelasi *Pearson*. Menurut [3], ukuran korelasi linear antara dua peubah yang paling banyak digunakan adalah koefisien korelasi *Pearson*.

- 3) Membuat bagan kendali mutu *Generalized Variance* (GV) terhadap kandungan kimia dalam baja karbon tinggi.

Bagan kendali mutu *Generalized Variance* (GV) digunakan untuk menguji keragaman proses. Metode yang digunakan pada bagan kendali mutu GV $|S|$ menggunakan rata-rata $E(|S|)$ dan ragam $V(|S|)$, yaitu [4]

$$E(|S|) = \mathbf{b}_1 |\Sigma|$$

$$V(|S|) = \mathbf{b}_2 |\Sigma|^2$$

dengan

$$\mathbf{b}_1 = \frac{1}{(\mathbf{n} - 1)^p} \prod_{i=1}^p (\mathbf{n} - i)$$

$$\mathbf{b}_2 = A \times B$$

di mana

$$A = \frac{1}{(n - 1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (\mathbf{n} - i)$$

dan

$$B = \left\{ \prod_{j=1}^p (\mathbf{n} - \mathbf{j} + 2) - \prod_{j=1}^p (\mathbf{n} - j) \right\}$$

Batas kendali bagan kendali mutu GV adalah sebagai berikut:

Batas Pengendali Atas(BPA) = $|\Sigma| (\mathbf{b}_1 + 3\sqrt{\mathbf{b}_2})$

Batas Pengendali(BP)= $|\Sigma| \mathbf{b}_1$

Batas Pengendali Bawah(BPB)= $|\Sigma| (\mathbf{b}_1 - 3\sqrt{\mathbf{b}_2})$

BPB akan bernilai nol jika hasil perhitungan yang didapat bernilai negatif atau kurang dari nol.

- 4) Melakukan pengecekan terhadap pemenuhan asumsi kenormalan ganda.

Langkah-langkah pengujian asumsi kenormalan ganda adalah sebagai berikut [5]:

- Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:
 H_0 : Data berdistribusi normal ganda
 H_1 : Data tidak berdistribusi normal ganda
- Mencari nilai rata-rata tiap peubah (\bar{x}_j)
- Menghitung matriks ragam peragam (S) dan invers matriks ragam peragam (S^{-1})
- Menghitung nilai statistik uji d_i^2 dengan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{d}_i^2 = (x_{ij} - \bar{x}_j) S^{-1} (x_{ij} - \bar{x}_j), i = 1, 2, \dots, n$$

dengan x_{ij} adalah vektor objek pengamatan ke- i pada peubah ke- j

- Membandingkan nilai statistik uji d_i^2 dengan $\chi_{0.5,10}^2$

Keputusan untuk mengatakan bahwa data berdistribusi normal ganda jika $d_i^2 \leq \chi_{(0.5,10)}^2$ lebih dari 50%.

- 5) Membuat bagan kendali mutu untuk peubah ganda T^2 Hotelling Individual terhadap kandungan kimia dalam baja karbon tinggi.

Bagan kendali mutu T^2 Hotelling Individual merupakan salah bagan kendali peubah ganda berdasarkan pengamatan individual. Bagan kendali ini berguna untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses dengan menggunakan vektor rata-rata sampel dan matriks ragam peragam. Langkah-langkah pembuatan bagan kendali mutu peubah ganda T^2 Hotelling Individual adalah sebagai berikut [4]:

- Menghitung matriks ragam peragam (S) dan invers matriks ragam peragam (S^{-1}) dengan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{(\mathbf{m} - 1)}$$

dengan \mathbf{V} adalah selisih antara dua vektor pengamatan yang berurutan

$$v_i = x_{i+1} - x_i, i = 1, 2, \dots, m - 1$$

atau

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ \vdots \\ v'_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)' \\ (x_3 - x_2)' \\ \vdots \\ (x_m - x_{m-1})' \end{bmatrix}$$

dengan m adalah jumlah pengamatan.

- Menghitung nilai statistik uji T^2 Hotelling Individual dengan rumus sebagai berikut:

$$T_i^2 = (x_i - \bar{x})' S^{-1} (x_i - \bar{x})$$

- Menghitung batas kendali

$$\begin{aligned} \text{Batas Pengendali Atas (BPA)} &= \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \\ \text{Batas Pengendali Bawah (BPB)} &= 0 \end{aligned}$$

- 6) Menghitung banyaknya pengamatan yang tidak terkontrol.

- 7) Mengidentifikasi peubah yang berpengaruh terhadap adanya pengamatan tidak terkontrol dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{ij} = T_i^2 - T_{(j)}^2$$

dengan:

P_{ij} : nilai dekomposisi pengamatan tidak terkontrol pada pengamatan ke- i tanpa pengamatan ke- j

T_i^2 : nilai statistik T^2 Hotelling pada pengamatan ke- i

$T_{(j)}^2$: nilai statistik T^2 Hotelling untuk semua peubah proses tanpa peubah ke- j

Perbaikan proses difokuskan pada peubah yang memiliki nilai $P_{ij} > \chi^2_{(0.05,1)}$. Jika nilai $P_{ij} < \chi^2_{(0.05,1)}$ maka dapat disimpulkan bahwa peubah ke- j adalah penyebab pengamatan tidak terkendali [4].

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Eksplorasi Data

Eksplorasi data dilakukan pada data tahun 2010 sampai dengan tahun 2013. Eksplorasi data dilakukan dengan menggunakan statistika deskriptif, seperti rata-rata, simpangan baku, median, maksimum, dan minimum. Nilai-nilai tersebut dihitung berdasarkan masing-masing peubah.

(Tabel I) menunjukkan bahwa peubah yang memiliki nilai rata-rata, median, maksimum, dan minimum yang paling besar adalah peubah CE. Nilai simpangan baku terbesar adalah peubah C dan peubah CE. Kedua peubah tersebut memiliki nilai simpangan baku yang sama besar, yaitu 0.025. Peubah C dan peubah CE memiliki nilai rata-rata, simpangan baku, median, maksimum, dan minimum yang terbesar karena peubah-peubah tersebut merupakan peubah yang paling utama dalam proses produksi baja. Peubah-peubah tersebut berpengaruh terhadap sifat mekanis baja, salah satunya adalah kekuatan. Semakin besar nilai peubah C dan CE maka semakin besar pula kekuatan pada baja.

Nilai rata-rata, median, maksimum, dan minimum yang paling kecil terlihat pada peubah V. Nilai simpangan baku terkecil adalah peubah S dan peubah V. Kedua peubah tersebut memiliki nilai simpangan baku yang sama besar, yaitu 0.004. Peubah V memiliki nilai rata-rata, simpangan baku, median, maksimum, dan minimum yang terkecil karena unsur tersebut tidak ditambahkan dalam proses produksi baja karbon tinggi *grade* KS1082B2. Penambahan unsur Vanadium (V) tidak dilakukan karena harga unsur tersebut sangat mahal. Fungsi dari unsur Vanadium (V) adalah meningkatkan kekuatan dari baja. Fungsi tersebut hampir sama dengan fungsi unsur C dan senyawa CE sehingga kecilnya nilai peubah V tidak menjadi masalah yang besar dalam proses produksi baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 karena nilai-nilai pada peubah C dan CE sudah besar.

Selain itu, peubah S dan P juga merupakan peubah-peubah yang memiliki nilai rata-rata, simpangan baku, median, maksimum, dan minimum yang kecil. Hal tersebut disebabkan peubah S dan P merupakan peubah-peubah yang hanya menjadi pengotor dalam proses produksi baja sehingga peubah-peubah tersebut diharapkan nilainya sekecil mungkin dalam proses tersebut. Semakin kecil nilai-nilai peubah S dan P maka semakin baik pula produk baja yang dihasilkan.

B. Korelasi antar Peubah

Berdasarkan nilai korelasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa peubah-peubah C, Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, V, dan CE memiliki nilai korelasi yang beragam. Sebagian besar korelasi yang dihasilkan memiliki nilai yang kecil, baik positif maupun negatif. Namun terdapat empat pasang

Tabel I
STATISTIKA DESKRIPTIF PADA DATA TAHUN 2010 - 2013

Peubah	Rata-Rata	Simpangan Baku	Median	Max	Min
C	0.795	0.025	0.791	0.917	0.722
Si	0.175	0.018	0.175	0.231	0.133
Mn	0.739	0.032	0.738	0.82	0.665
P	0.014	0.005	0.014	0.035	0.006
S	0.013	0.004	0.013	0.024	0.004
Cu	0.04	0.019	0.034	0.105	0.015
Ni	0.021	0.009	0.018	0.054	0.008
Cr	0.031	0.015	0.027	0.153	0.013
V	0.006	0.004	0.005	0.023	0.001
CE	0.918	0.025	0.914	1.042	0.833

peubah yang memiliki nilai korelasi yang lebih dari 0.5, yaitu peubah C dengan CE, peubah Cu dengan Ni, peubah Cu dengan Cr, dan peubah Ni dengan Cr. Peubah-peubah tersebut memiliki nilai korelasi positif yang lebih dari 0.5, artinya korelasi antar peubah tergolong kuat. Selain itu, nilai korelasi positif yang dihasilkan antar peubah menunjukkan bahwa arahnya berbanding lurus. Adanya beberapa peubah yang berkorelasi kuat menunjukkan bahwa dalam pengendalian proses digunakan bagan kendali peubah ganda.

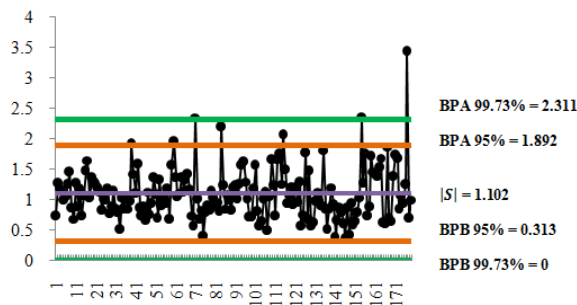
C. Bagan Kendali Generalized Variance (GV)

Bagan kendali mutu *Generalized Variance* (GV) yang dihasilkan merupakan bagan kendali yang digunakan untuk mengendalikan keragaman proses. Bagan kendali tersebut menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan 99.73%. Hal tersebut dilakukan untuk melihat perbedaan banyaknya pengamatan yang berada di luar batas kendali.

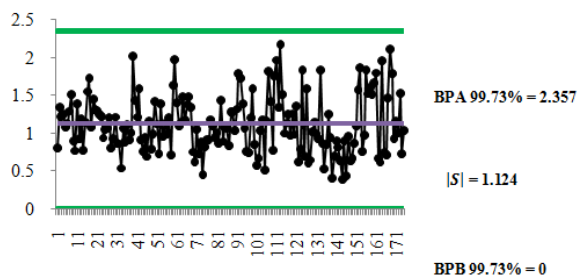
Tingkat kepercayaan 95% menghasilkan nilai BPA sebesar 1.892 dan BPB sebesar 0.313. Batas kendali tersebut mengakibatkan tujuh pengamatan berada di luar batas kendali, yaitu pada pengamatan ke 39, 60, 71, 84, 115, 154, dan 177. Tingkat kepercayaan 99.73% menghasilkan nilai BPA sebesar 2.311 dan BPB sebesar -0.107. Nilai BPB dengan tingkat kepercayaan 99.73% bernilai negatif sehingga nilai BPB tersebut diubah menjadi nol. Batas kendali yang dihasilkan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 99.73% mengakibatkan tiga pengamatan berada di luar batas kendali, yaitu pada pengamatan ke 71, 154, dan 177. Lebih jelasnya dapat dilihat pada (Gambar 1). Oleh karena itu, tingkat kepercayaan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 99.73% karena pengamatan yang berada di luar batas kendali jumlahnya lebih sedikit.

Pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa keragaman proses belum terkendali secara statistik. Hal tersebut disebabkan bahan baku yang digunakan untuk pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 merupakan baja bekas sehingga baja yang dihasilkan memiliki keragaman yang cukup tinggi. Selain itu, waktu proses pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 merupakan salah

satu faktor yang menyebabkan keragaman tidak terkendali. Waktu yang digunakan untuk proses pembuatan baja tersebut beragam, yaitu pagi dan malam. Kemudian pengamatan yang berada di luar batas kendali tersebut dihilangkan agar menghasilkan bagan GV yang terkendali. Nilai BPA yang dihasilkan sebesar 2.357 dan BPB sebesar -0.109. Nilai BPB yang dihasilkan bernilai negatif sehingga nilai BPB diubah menjadi nol. Berdasarkan bagan kendali GV dengan menggunakan tingkat kepercayaan 99.73% dan nilai batas kendali yang baru terlihat bahwa sudah tidak terdapat lagi pengamatan yang berada di luar batas kendali. Hal tersebut menunjukkan bahwa bagan kendali GV sudah terkendali. Lebih jelasnya dapat dilihat pada (Gambar 2).



Gambar 1. Bagan kendali Generalized Variance (GV)

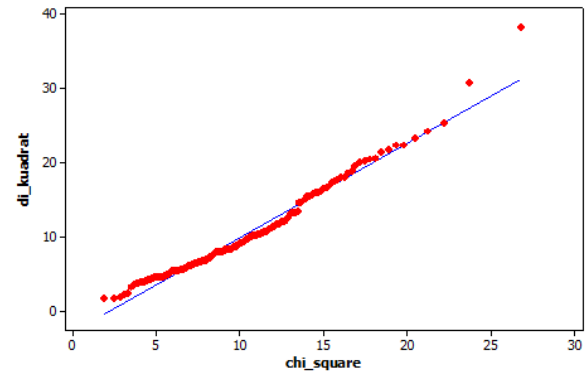


Gambar 2. Bagan kendali Generalized Variance (GV) yang sudah terkendali

D. Uji Kenormalan Ganda

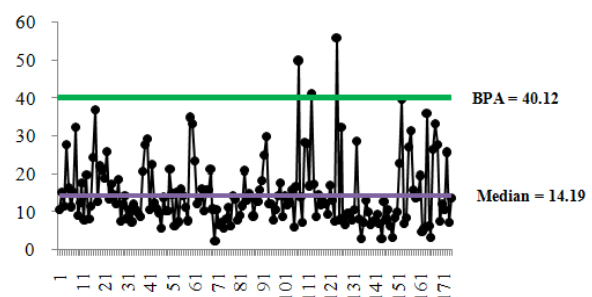
Asumsi kenormalan ganda dapat diuji dengan melihat nilai statistik uji di^2 . Asumsi tersebut terpenuhi apabila minimal 50% dari nilai statistik uji di^2 kurang dari $\chi_{\alpha, df}$. Berdasarkan hasil uji kenormalan ganda yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai di^2 kurang dari $\chi_{\alpha, df}$ ($\alpha = 0.5$ dan $df =$ banyaknya peubah) sebesar 57.14%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa asumsi kenormalan ganda telah terpenuhi karena 57.14% lebih besar dari 50%.

Selain itu, pengujian kenormalan ganda dapat dilakukan dengan menggunakan *Q-Q plot*. Plot yang dihasilkan dapat dilihat pada (Gambar 3). Plot tersebut menunjukkan bahwa plot pada gambar mendekati garis, artinya kandungan unsur kimia C, Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, V, dan senyawa CE menyebar dengan sebaran normal ganda.

Gambar 3. Plot kenormalan ganda (*Q-Q Plot*)

E. Bagan Kendali T^2 Hotelling

Bagan kendali peubah ganda T^2 Hotelling merupakan bagan kendali yang digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses. Bagan kendali yang dihasilkan merupakan bagan kendali T^2 Hotelling dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 99.73% atau taraf nyata sebesar 0.0027. Nilai BPA yang dihasilkan sebesar 40.12. Hasil analisis pada bagan kendali peubah ganda T^2 Hotelling menunjukkan bahwa terdapat tiga pengamatan yang berada di luar batas kendali, yaitu pada pengamatan ke 107, 113, dan 124. Lebih jelasnya dapat dilihat pada (Gambar 4). Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses belum terkendali secara statistik. Penyebab data-data tersebut berada di luar batas kendali adalah masih terdapat beberapa unsur kimia pada baja karbon tinggi grade KS1082B2 yang kandungannya belum sesuai dengan spesifikasi dari baja tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu perbaikan, salah satunya adalah perbaikan terhadap kandungan unsur kimianya.

Gambar 4. Bagan kendali T^2 Hotelling

F. Identifikasi Pengamatan Tidak Terkendali

Identifikasi pengamatan tidak terkendali digunakan untuk mengetahui peubah yang berpengaruh terhadap pengamatan tidak terkendali. (Gambar 4) menunjukkan bahwa proses tidak terkendali sehingga ingin diketahui peubah-peubah yang menjadi penyebab proses tidak terkendali pada pengamatan ke 107, 113, dan 124. Salah satu pendekatannya

adalah dengan menghitung nilai dekomposisi pengamatan tidak terkendali. Nilai tersebut merupakan selisih antara nilai T^2 Hotelling pada pengamatan yang tidak terkendali ke- i dengan nilai T^2 Hotelling untuk semua peubah proses tanpa peubah ke- j . Interpretasi pengamatan tidak terkendali dilakukan karena cukup sulit mengetahui penyebab yang berkontribusi untuk kasus peubah ganda.

Tabel II
URUTAN PEUBAH YANG BERPENGARUH TERHADAP PENGAMATAN
TIDAK TERKENDALI

No	Banyaknya Pengaruh Peubah terhadap Pengamatan Tidak Terkendali		Persentase
1	Cu	2	40%
2	Ni	1	20%
3	S	1	20%
4	P	1	20%

Peubah-peubah yang berpengaruh terhadap adanya pengamatan tidak terkendali sebanyak empat peubah, yaitu peubah S, Cu, P, dan Ni. Hal tersebut dapat diketahui dari nilai statistik uji P_{ij} . Peubah ke- j adalah penyebab pengamatan tidak terkendali jika nilai $P_{ij} > \chi^2_{(0.0027,1)}$.

Peubah-peubah yang berpengaruh terhadap pengamatan tidak terkendali dilakukan penghitungan jumlah banyaknya pengaruh adanya pengamatan tidak terkendali dan dilakukan pengurutan berdasarkan jumlahnya. (Tabel II) menunjukkan bahwa urutan peubah-peubahnya adalah Cu, Ni, S, dan P. Sebagian besar peubah-peubah tersebut memiliki peranan yang sama besarnya dalam memengaruhi adanya pengamatan tidak terkendali, yaitu terlihat dari jumlah banyaknya pengaruh adanya pengamatan tidak terkendali yang besarnya sama dengan satu. Namun terdapat satu peubah yang memiliki jumlah lebih besar dan paling banyak memengaruhi adanya pengamatan tidak terkendali, yaitu peubah Cu. Oleh karena itu, peubah Cu merupakan peubah yang diutamakan dalam perbaikan proses karena peubah tersebut cukup penting dalam pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2.

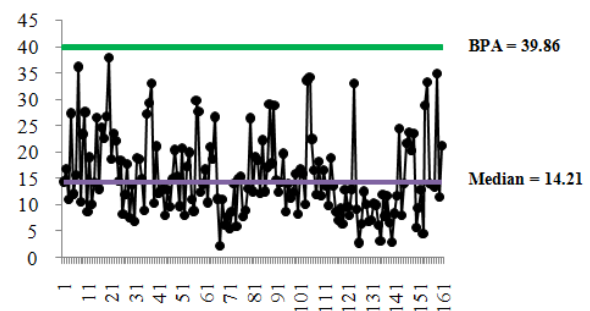
Peubah Cu merupakan unsur pertama yang dilakukan perbaikan proses. Dampak dari penyimpangan unsur Cu adalah dapat mengganggu sifat mekanis yang diinginkan pada baja. Salah satu kegunaan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 adalah untuk kawat. Penyimpangan pada unsur tersebut akan mengakibatkan kawat sulit untuk dibengkokkan.

Peubah Ni merupakan unsur kedua yang dilakukan perbaikan proses. Dampak dari penyimpangan unsur Ni terhadap produk baja yang dihasilkan adalah baja akan memiliki sifat kekuatan yang berlebih yang tidak sesuai dengan spesifikasi *grade* yang diinginkan sehingga akan dilakukan *change grade* (d disesuaikan dengan komposisi unsur kimianya). Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan target pesanan.

Peubah S dan peubah P merupakan unsur ketiga dan keempat yang dilakukan perbaikan proses. Unsur S dan unsur P hanya sebagai pengotor dalam proses produksi baja, artinya

unsur-unsur tersebut tidak diinginkan keberadaannya dalam proses produksi baja. Pada kenyataannya sangat sulit untuk menghilangkan unsur S dan unsur P sehingga diharapkan kandungan dari unsur-unsur tersebut sekecil mungkin. Dampak dari penyimpangan unsur S dan unsur P adalah dapat merusak sifat kekuatan yang diinginkan pada baja sehingga baja yang dihasilkan akan mudah patah.

Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi disebabkan pemilihan bahan baku yang kurang tepat. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan baja karbon tinggi KS1082B2 adalah baja bekas. Setelah diketahui penyebab adanya pengamatan tidak terkendali maka pengamatan tersebut dapat dihilangkan agar dapat menghasilkan bagan kendali T^2 Hotelling yang terkendali secara statistik. (Gambar 5) menunjukkan bahwa bagan kendali T^2 Hotelling yang dihasilkan tidak terdapat lagi pengamatan yang berada di luar batas kendali dengan nilai BPA sebesar 39.86. Hal tersebut menunjukkan bahwa bagan kendali T^2 Hotelling sudah terkendali secara statistik.



Gambar 5. Bagan kendali T^2 Hotelling yang sudah terkendali

VI. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Pengendalian proses yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan bagan kendali mutu *Generalized Variance* (GV) dan bagan kendali mutu T^2 Hotelling. Bagan kendali *Generalized Variance* (GV) digunakan untuk mengendalikan keragaman proses sedangkan bagan kendali T^2 Hotelling digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses. Berdasarkan hasil yang didapat menunjukkan bahwa bagan kendali *Generalized Variance* (GV) dan bagan kendali T^2 Hotelling dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 99.73% sudah terkendali setelah pengamatan yang berada di luar batas dihilangkan, artinya ragam dan rata-rata proses sudah terkendali. Pengamatan yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa terdapat beberapa baja yang belum sesuai dengan spesifikasi *grade* yang diinginkan, yaitu pada unsur kimianya. Hal tersebut mengakibatkan jumlah baja yang diproduksi tidak sesuai.

Peubah-peubah yang berpengaruh terhadap adanya pengamatan yang tidak terkendali sebanyak empat peubah, yaitu

Cu, Ni, S, dan P. Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi disebabkan pemilihan bahan baku yang kurang tepat. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan baja karbon tinggi KS1082B2 adalah baja bekas.

B. Saran

Keragaman yang dimiliki pada baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 adalah cukup tinggi. Hal tersebut terlihat pada bagan kendali *Generalized Variance* (GV) yang menunjukkan bahwa beberapa pengamatan berada di luar batas kendali. Faktor penyebabnya adalah bahan baku yang kurang tepat dan waktu proses pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 yang beragam. Oleh karena itu, perusahaan diharapkan untuk meningkatkan spesifikasi dari bahan baku dan memerhatikan waktu proses pembuatan baja karbon tinggi *grade* KS1082B2 agar penyimpangan-penyimpangan yang terjadi dapat berkurang. Selain itu, saran untuk penelitian selanjutnya adalah diharapkan dapat dilakukan penelitian untuk produk baja karbon tinggi *grade* lainnya karena produk tersebut merupakan produk baja yang penting di PT Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon sehingga masih perlu banyak dilakukan pengendalian proses.

PUSTAKA

- [1] L. S. Aft, *Fundamentals of Industrial Quality Control Third Edition*, United States of America (US): St. Lucie Press, 1998.
- [2] Rusmardi, Feidihal, *Analisa Persentase Kandungan Karbon pada Logam Baja*, Jurnal Teknik Mesin 3(1): 35-43, Tersedia pada: <http://ojs.polinpdg.ac.id/index.php/JTM/article/download/370/362>, 2006.
- [3] R. E. Walpole, *Pengantar Statistika Edisi ke-3*, Terjemahan dari: *Introduction to Statistics Third Edition*, Penerjemah: Ir. Bambang Sumantri, Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Utama, 1995.
- [4] D. C. Montgomery, *Statistical Quality Control: A Modern Introduction Sixth Edition*, United States (US): John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [5] R. A. Johnson, D. W. Wichern, *Applied Multivariate Statistical Analysis*, New Jersey (US): Pearson Education, 2007.